

FÍSICA DA CORRIDA – BIOMECÂNICA E ARRASTO

RUNNING PHYSICS — BIOMECHANICS AND DRAG

FÍSICA DE LA CARRERA — BIOMECÁNICA Y ARRASTRE

Alyson Fernando Barros¹
Roberto Aguilar de Souza Júnior²

Resumo

A física que descreve matematicamente o comportamento da natureza pode ser aplicada em situações do esporte em que, para o deslocamento de um corredor, observamos diversas variáveis físicas que interferem no desempenho do atleta. Este trabalho tem como objetivo abordar qualitativa e quantitativamente essas variáveis, de modo que opta por abordagem mista entre pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo. Na etapa inicial, estuda-se a aplicação da física nas técnicas de corrida, com destaque para duas áreas — a aerodinâmica e a biomecânica — a primeira para avaliar alguns fatores de alteração da resistência do ar, a segunda para analisar fatores corporais que podem tanto auxiliar quanto atrapalhar o desempenho do corredor. Como objeto imerso em um fluido, espera-se que a interação com o ar impacte a trajetória, e parte deste impacto pode ser amenizado com a utilização dos braços. Na pesquisa, constatamos que a utilização dos braços reduziu cerca de 5,67% do arrasto. Além disso, avaliaram-se fatores como superfície de contato e estabilização do centro de massa.

Palavras-chave: *sprint*; arrasto; física do esporte; física da corrida; biomecânica.

Abstract

The physics that mathematically describes nature's behavior can be applied to sport situations in which, for a runner's displacement, we observe several physical variables that interfere in the athlete's performance. This work aims to address qualitatively and quantitatively these variables, so it chooses a mixed approach between bibliographical research and field research. In the initial stage, physics' application in running techniques is studied, emphasizing two areas — aerodynamics and biomechanics — the first to assess some factors of air resistance change, and the second to analyze body factors that can either help or hinder the runner's performance. As an object immersed in a fluid, the interaction with the air is expected to impact the trajectory, and part of this impact can be mitigated by using the arms. In the research, we found that the use of the arms reduced about 5.67% of the drag. In addition, factors such as contact surface and stabilization of the center of mass were evaluated.

Keywords: *sprint*; drag; sport physics; running physics; biomechanics.

Resumen

La física que describe matemáticamente el comportamiento de la naturaleza puede ser aplicada en situaciones del deporte en las cuales, para el desplazamiento de un corredor, observamos diversas variables físicas que interfieren en el desempeño del atleta. Este trabajo tiene el objetivo de estudiar cualitativa y cuantitativamente esas variables, de modo que opta por un acercamiento mixto de investigación bibliográfica y de campo. En la etapa inicial, se estudia la aplicación de la física en las técnicas de carrera, con destaque en dos áreas — la aerodinámica y la biomecánica —; la primera para evaluar algunos factores de alteración de la resistencia del aire, la segunda para analizar factores corporales que pueden tanto ayudar como dificultar el desempeño del corredor. Como objeto inmerso en un fluido, se espera que la interacción con el aire produzca impacto sobre la trayectoria; parte de ese impacto puede ser mitigada con la utilización de los brazos. En la investigación, constatamos que la utilización de los brazos redujo cerca de 5,67% del arrastre. Además, se evaluaron factores como superficie de contacto y estabilización del centro de masa.

Palabras-clave: *sprint*; arrastre; física del deporte; física de la carrera; biomecánica.

¹ Discente no curso de Física do Centro Universitário Internacional UNINTER. E-mail: alyson@uninter.com.

² Docente no Centro Universitário Internacional UNINTER. E-mail: roberto.so@uninter.com.

1 Introdução

Embora o mundo seja regido por leis da física, não é comum utilizá-la para entender melhor o esporte. As melhorias no desempenho esportivo são chamadas técnicas. Apesar de os atletas normalmente não dominarem conhecimentos de física e biomecânica, as técnicas que empregam para melhorar seus resultados são exclusivamente baseadas nessas ciências.

Com isso em mente, o objetivo deste trabalho é analisar as técnicas utilizadas na corrida, em especial nos *sprints* (corridas curtas de velocidade) e apontar a física por trás de cada ação. O trabalho foi dividido em uma abordagem mista, iniciando com uma pesquisa qualitativa e concluindo com uma pesquisa quantitativa para mensurar a relevância de fatores físicos por meio de experiências de corrida, alterando técnicas e cronometrando o tempo de cada *sprint*, de maneira que se possa estimar o impacto dos seguintes fatores: atrito com o ar e com o solo, equilíbrio e área de contato tanto com o ar quanto com o solo. Tais itens estão ligados à física do movimento, mas há também fatores antropométricos, como altura, comprimento dos braços e pernas, largura dos ombros e circunferência da perna, este último atrelado à força que um indivíduo pode gerar.

O atletismo é considerado o esporte mais nobre das olimpíadas, pois envolve boa parte dos músculos do corpo humano durante a corrida. Na física, também envolve boa parte dos conceitos da mecânica clássica e alguns tópicos de mecânica dos fluidos para quantificar a relevância de cada termo. Para os propósitos desta análise, realizou-se pesquisa de campo com 15 voluntários, que correram cinco *sprints* com diferentes modalidades, o primeiro disparo para controle e os outros quatro para separar as variáveis e destacar a relevância de cada termo mencionado anteriormente.

2 Metodologia

A pesquisa é constituída por uma abordagem mista, que visa analisar a relevância de fatores como arrasto, atrito, direção do vetor de força e posição do centro de massa. Para tanto, o artigo inicia com uma pesquisa qualitativa cujo alvo são as técnicas de corrida, analisando a importância da física no esporte para desenvolver técnicas que servem tanto para reduzir o efeito das forças dissipativas — como o arrasto e o atrito com o solo —, quanto melhorar a biomecânica e a vetorização da força de impulsão. A última parte do trabalho apresenta uma abordagem quantitativa com o intuito de mensurar o impacto que a utilização do braço, a diminuição do atrito com o solo e a posição do centro de massa têm sobre o tempo final de execução do *sprint*, mais especificamente na fase de aceleração da corrida (30 m).

A fase de pesquisa bibliográfica foi dividida em duas etapas. A primeira envolveu busca por informações sobre técnicas de corrida facilmente encontradas no *YouTube*, por se tratar de tema amplamente divulgado ao público em geral. Na segunda etapa, buscaram-se artigos a respeito de biomecânica da corrida, principalmente na plataforma Google Acadêmico, na qual, relativamente ao tema “Biomecânica da corrida”, encontraram-se 9.700 trabalhos relacionados; para “Biomecânica do atletismo”, 3.560. Foram selecionados alguns trabalhos para análise aprofundada, a saber: *Biomecânica do Esporte e do Exercício* (2015), *Análise e comparação das alterações biomecânicas associadas a corrida com arrasto* (2008), *A biomecânica e a Educação Física* (2007) e *Dynamic contribution analysis on the propulsion mechanism of sprinter during initial acceleration phase* (2016). A partir do estudo desses trabalhos e do conhecimento das técnicas de corrida foi possível evidenciar a aplicação da física em cada etapa do movimento, servindo de base para a elaboração deste trabalho.

A parte quantitativa da pesquisa ocorreu com 15 voluntários que realizaram cinco *sprints* de 30 m, correspondentes à fase de aceleração da corrida, com algumas variações entre cada disparo para evidenciar o efeito da variável analisada no tempo final da prova, sendo o primeiro *sprint* a corrida livre, para efeito de controle e comparação. O segundo *sprint* foi a corrida com os braços cruzados, que aumentava o arrasto e diminuía o tempo final da prova. O terceiro *sprint* foi a corrida na ponta dos pés (região da falange), que reduziu o atrito com o solo, apresentando melhor desempenho. O quarto foi a corrida sincronizando braços e pernas, por exemplo, braço direito se movimentando em conjunto com a perna direita, causando um desvio do centro de massa, aumentando o percurso realizado, logo, diminuindo o tempo e eficiência da corrida. Por fim, o último *sprint* não teve como objetivo avaliar técnicas de corrida, mas ser uma brincadeira e um estilo de corrida chamado “corrida Naruto”, oriunda do anime de mesmo nome. O objetivo desta corrida é reduzir a superfície de contato com o ar, embora ignore a aerodinâmica e o equilíbrio.

3 Física e biomecânica

Ao observarmos um corredor mais atentamente, notamos alguns fatores que agem tanto sobre o desempenho quanto sobre a frenagem do atleta, e a somatória desses fatores leva à composição da velocidade final. Segundo Passos *et al.* (2017), a velocidade final é o produto do comprimento da passada pela frequência de passos ($V = \lambda \cdot f$), onde o comprimento da passada está atrelado a fatores antropométricos e a frequência a fatores físicos, logo, na prática, há

diversos fatores a serem avaliados, como a interação do corpo com o fluido, no caso, o ar, o atrito com o solo, onde a biomecânica da corrida influencia e a força muscular do atleta.

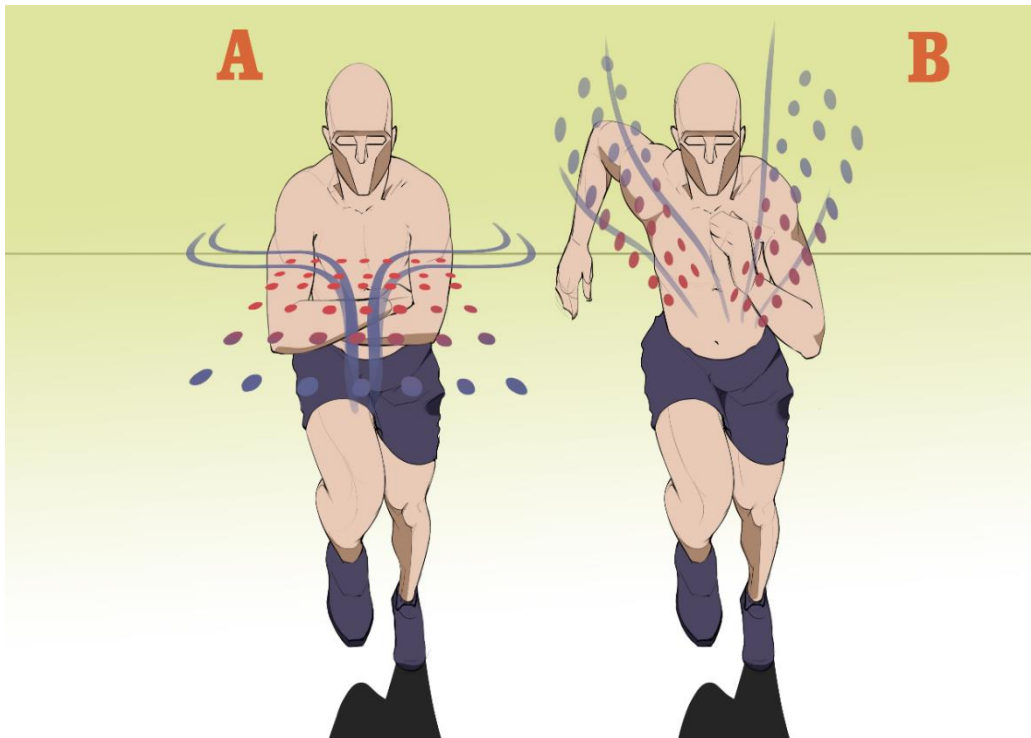
3.1 Arrasto

É intuitivo que qualquer superfície aerodinâmica possui um perfil fino (*streamlined body*). Observando-se a corrida humana, é fácil compreender a importância da movimentação dos braços, pois executá-la corretamente é uma das técnicas de corrida que impacta diretamente a velocidade do atleta. No experimento realizado para este trabalho, observou-se que o uso do braço interfere, em média, 5,67% no tempo final de um *sprint* de 30 m, considerando que a força de arrasto é proporcional ao quadrado da velocidade. Em corridas mais longas, o impacto será mais significativo, a não utilização dos braços implica que o ar se chocará diretamente com o corpo do atleta que não tem perfil aerodinâmico (*blunt body*). Analisando a diferença entre os corpos, vemos que, no *blunt body*, há forte troca de momento linear entre o corpo do atleta e as partículas presentes no ar e o corpo. Sabendo que o momento linear é dado por $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$, e que 1 m³ de ar pesa aproximadamente 1,3 Kg, é visível que o momento linear fica dependente da velocidade. Nota-se também que o atrito com o ar não é desprezível. Em *streamlined body*, o ar que passa rente ao corpo adere à superfície da pele por força de adesão, criando uma camada limite ou camada de *Prandtl*, e a viscosidade do ar desta camada permite que o corpo deslize com maior facilidade. Na aerodinâmica, o arrasto é dividido entre *arrasto de pressão*, provocado pela colisão direta entre ar e superfície, e o *arrasto de fricção*, às vezes chamado *arrasto parasita*, gerado pela aderência do fluido ao corpo, logo, a principal utilidade das técnicas de braços é diminuir o arrasto de pressão provocado pela melhor aerodinâmica das mãos e braços. Considerando a força de arrasto como $f_a = \frac{1}{2} C_a \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ ³ (o fator velocidade na equação diz respeito a quantidade de colisões por tempo), perceber-se que a utilização otimizada dos braços afeta diretamente o coeficiente de atrito (C_a), que para humanos em pé varia entre 1.0 e 1.3. Podemos extrapolar o c_a da mão humana para um formato que tende a um aerofólio com um coeficiente de arrasto de 0,04, muito inferior ao coeficiente produzido por uma pessoa em pé, e o braço humano pode ser aproximado a um cilindro com um coeficiente de arrasto de cerca de 0,6. Podemos estimar um coeficiente de arrasto médio muito inferior se utilizarmos os braços à frente do corpo. Após o ar colidir com o braço, parte

³ Um fator interessante, mas não abordado neste trabalho, é o uso de camisetas específicas para corrida, rentes ao corpo, de modo que diminuam a área de contato entre o fluido e o sistema corpo + roupa, consequentemente diminuindo a força de arrasto.

será deslocada para trás do corpo e outra porção deslocada à parte frontal, porém, essa segunda parcela colidirá com o corpo a uma velocidade relativa menor, diminuindo também o arrasto.

Figura 1: fluxo de ar



Fonte: Michel Machado do Couto, 2021.

Também faz parte das técnicas de corrida a mão aberta, que altera o Ca de 1,05 (cubo) para algo ligeiramente superior a 0,04 (aerofólio). Os benefícios da movimentação dos braços são acumulativos ao longo da corrida, logo, o atleta que não utiliza corretamente o braço desperdiçará muita energia no trajeto, a ponto de precisar compensar o arrasto com uma força maior. Além do fato de que em um ambiente competitivo qualquer vantagem é aproveitada, diminuindo a quantidade de partículas se chocando diretamente contra nós, na prática, utilizamos a força muscular dos braços, que não são tão exigidos durante a corrida para otimizar o desempenho, tornando a corrida um esporte que exige esforço integral do corpo.

3.2 Atrito com o Solo e Biomecânica

A postura inicial⁴ de um corredor de velocidade (*sprint*) na fase de aceleração (de 0 até 20 ou 30 m) consiste em três fatores: o primeiro é estar com o tronco inclinado de forma que o

⁴ A corrida da velocidade é dividida em 5 etapas, sendo a primeira o tempo de reação entre a largada e o estímulo muscular e a segunda a fase de aceleração.

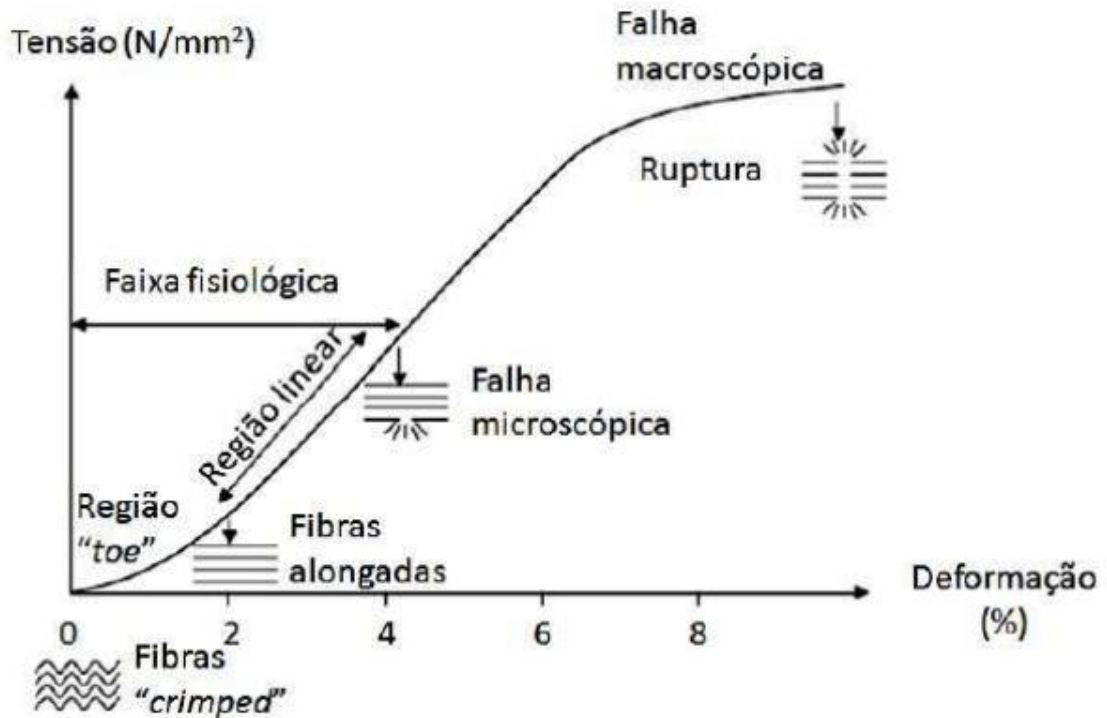
centro de massa (*C.M*) esteja à frente do apoio do pé, facilitando a biomecânica do corpo; o segundo é estar apoiado sempre sobre os dedos do pé e com o calcanhar levantado, diminuindo o atrito com o solo, embora normalmente consideremos, na física, o atrito como independente da área, pois, mesmo que uma área maior provoque mais interações entre as microfissuras do material e o solo, também há diminuição da pressão exercida pela força peso. Entretanto, essa regra é válida apenas para corpos rígidos. Para materiais elásticos (Modulo de Young baixo), como a borracha e a pele humana, a relação entre pressão e coeficiente de atrito não é linear, pois a elasticidade do corpo lhe dá a possibilidade de penetrar nas microfissuras do solo⁵ com maior facilidade, logo, a diminuição da área de contato é fundamental à redução do coeficiente de atrito, como bem explicado no texto *The absolute guide to the 60acing tyres — part 1: lateral force* (2014), de Rodrigo Oliveira Santos. O terceiro fator é deixar a perna predominante à frente, pois o coeficiente de atrito estático é sempre superior ao cinético ($\mu_e > \mu_c$), de maneira que é sensato utilizar a perna mais forte para dar propulsão inicial, sabendo que o atrito com o solo será maior, a somatória desses três fatores auxilia a biomecânica, permitindo que o corpo entre na fase de propulsão⁶ rapidamente, e que a fase de entrada e propulsão sejam as mesmas, ideal para acelerações rápidas, mas cansativo demais para ser mantido por longos períodos. Na aceleração, elevamos bastante o joelho utilizando o corpo como mola em que o sistema tendões-ligamentos-músculos está guardando energia da mola para “explodir”, convertendo em energia cinética ($E_{i_m} = E_{f_c} \rightarrow \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2}$), onde *k* é a constante de elasticidade do tendão e *x* o comprimento em que ele é deformado. Portanto, a amplitude do movimento impacta diretamente a energia elástica que será armazenada e transformada em cinética, motivo pelo qual, quando queremos saltar mais alto, aumentamos a amplitude dos movimentos, aumentando assim a deformação do tendão, conseqüentemente, a energia da mola. Contudo, essa lógica não se aplica integralmente à corrida, pois, ao aumentarmos a amplitude da perna (ângulo entre o glúteo e o quadríceps), também aumentamos bastante o tempo para realizar uma propulsão e outra, e, considerando a fórmula $V = \lambda \cdot f$, se demorarmos muito entre as passadas, perdemos rendimento, de modo que há um limite para a eficácia dessa puxada. Observando a Figura 2, à medida que o tendão se aproxima da deformação máxima, a taxa de crescimento da curva (crescimento da energia elástica) reduz, logo, deixa de ser útil alcançarmos a maior quantidade

⁵ Por esse motivo, é importante a calibração adequada dos pneus, visto que uma pressão maior que o indicado tornaria o pneu mais rígido, diminuindo o atrito com o solo, e uma menor pressão aumentaria o atrito, aumentando também a gasolina necessária para movê-lo.

⁶ Fase onde os músculos do quadril e da coxa se contraem, impulsionando o corpo para frente.

de energia elástica possível. Naturalmente, buscamos o melhor ponto de equilíbrio entre deformação do tendão e tempo da passada.

Figura 2: Curva tensão-deformação



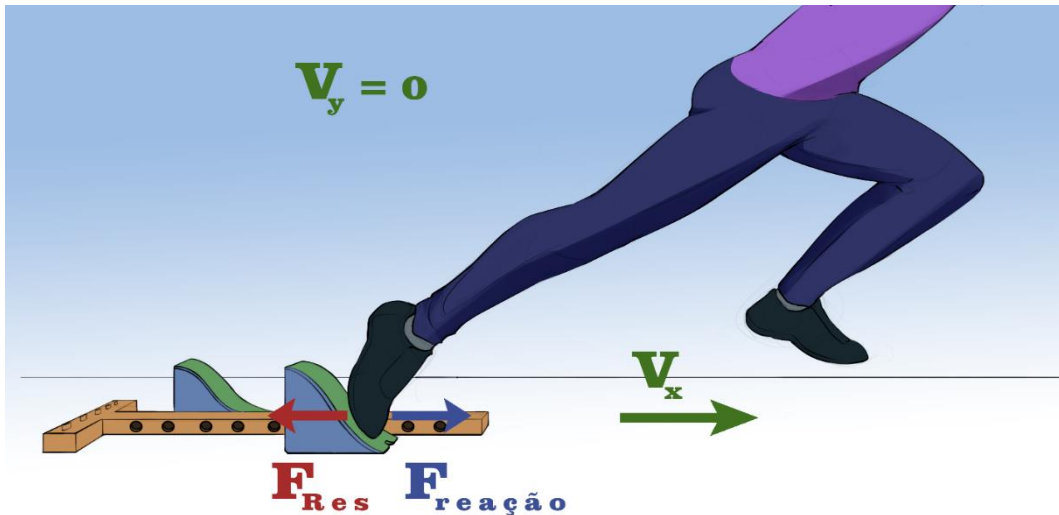
Fonte: Oliveira A. (2016).

3.3 Inclinação do Corpo

É comum atletas inclinarem o corpo no momento de uma arrancada e há dois bons motivos para isso. O primeiro é que, inclinando o corpo, reduzimos a superfície de contato com o ar ($f_a = \frac{1}{2} C_a \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$), diminuindo a força de arrasto. O segundo é que, na posição onde inclinamos o corpo, a biomecânica do movimento faz o vetor força resultante se direcionar para trás, logo, o corpo será impulsionado para frente maximizando o desempenho. A diferença entre saltar e correr está na direção da propulsão, pois, no salto, fazemos um ângulo de aproximadamente 90° com a horizontal, então temos que $v_y = v \cdot \cos(0) = v \therefore v_x = v \cos(90) = 0$, e assim toda a velocidade é orientada na direção desejada. Porém, ao correr, o vetor velocidade não aponta exatamente para frente e estamos constantemente decompondo a velocidade entre as componentes x e y. Para melhor eficiência da propulsão na corrida, precisamos que o ângulo entre a força exercida pelo corpo e o solo seja o mais próximo de 0. Para corridas profissionais, a forma de contornar esse problema na arrancada é utilizando *sprints blocks* ou blocos de arranque. Conforme Figura 3, aproximando o ângulo entre o pé e

o solo de 0° o atleta consegue aproveitar toda a velocidade gerada para se impulsionar horizontalmente. Em corridas sem o *sprint block*, a inclinação do corpo no momento de arranque auxilia a direcionar o vetor força muscular para trás.

Figura 3: Arrancada



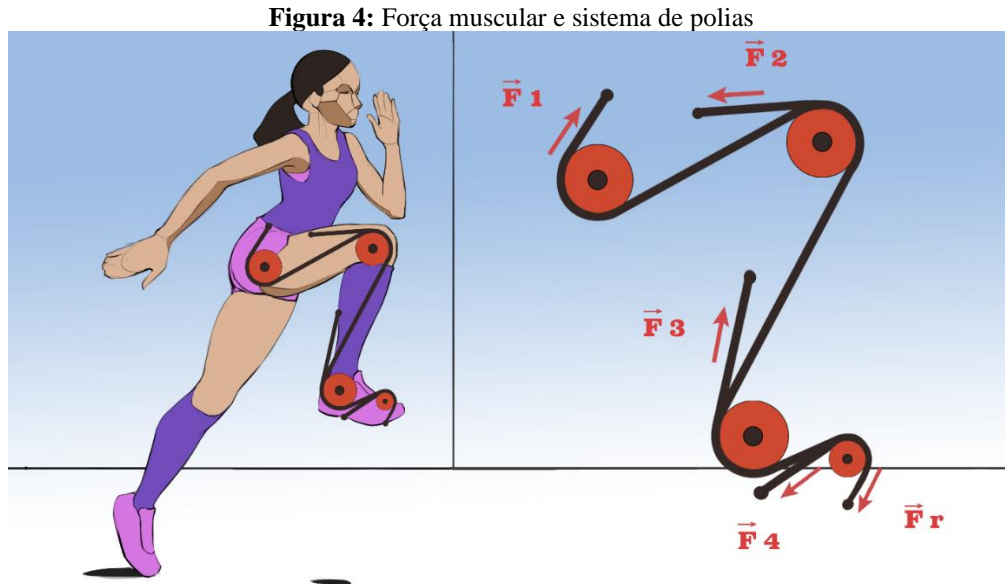
Fonte: Miche Machado do Couto, 2021.

Podemos decompor a aceleração em aceleração centrípeta e tangencial ($\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$), aquela responsável pela rotação do corpo e esta pelo movimento em linha reta. No caso de um corredor, a primeira seria causada pelo peso, enquanto a segunda pela força muscular do atleta. Para mantermos o corpo em pé é necessário que $\vec{a}_t > \vec{a}_c$, neste caso, a força centrípeta atuante no atleta seria a força gravitacional e a aceleração seria g . Portanto, a condição para não cairmos é $\vec{a}_t > g$, e o único momento em que conseguimos manter essa condição é imediatamente após a largada, depois dos primeiros instantes o atleta é obrigado a se levantar de tal forma que a força normal se equilibre com a força peso, perdendo os benefícios da diminuição do arrasto e do ângulo de propulsão, mas evitando quedas.

3.4 Força muscular e impulsão

A força de impulsão é gerada basicamente por quatro agrupamentos musculares — isquiotibiais, panturrilha, quadríceps e glúteo. O estudo de Nagai e Koike (2015) aponta a relevância da flexão plantar (o movimento de apontar os dedos para baixo) e que maiores torques na flexão plantar são cruciais na aceleração. Na prática, é o movimento de correr tocando a ponta do pé no chão, que além de reduzir drasticamente o atrito com o solo, como visto anteriormente, faz o corpo utilizar também a musculatura da panturrilha na corrida. O

corpo humano é como um sistema de polias, como mostra a Figura 4, em que cada agrupamento muscular gera uma tensão no sistema ossos-tendões, gerando uma força resultante no solo e impulsionando o corredor para frente.



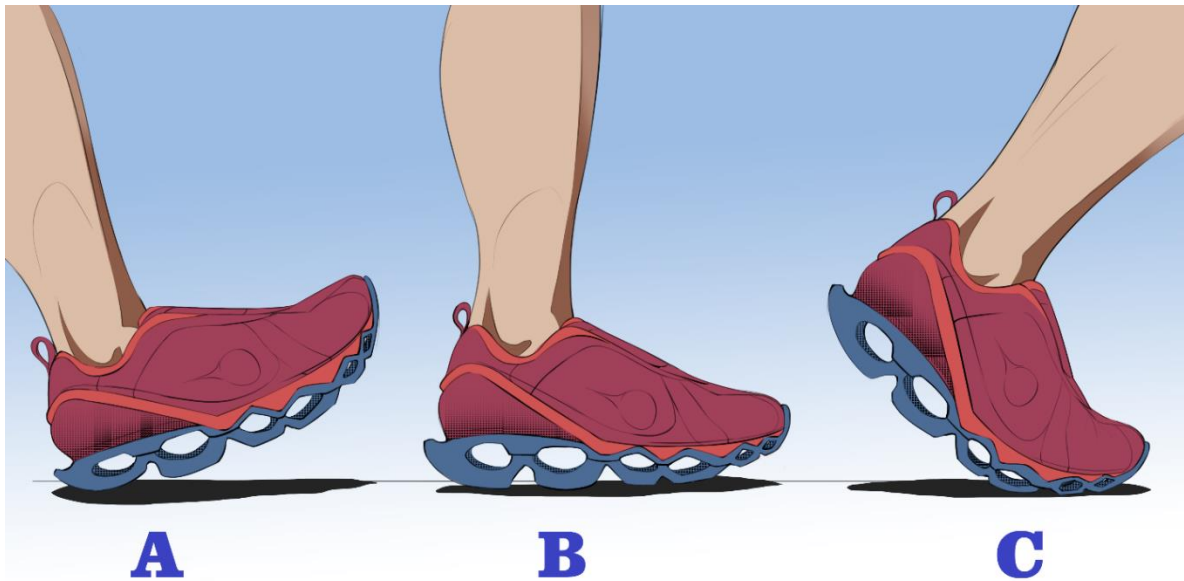
Fonte: Michel Machado do Couto, 2021.

Utilizando a 2ª lei de Newton no sistema de impulsão, temos $F_r = m \cdot a = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$, e a força resultante efetiva, aquela que propulsiona o corpo para direção do deslocamento, considerando $v_0 = t_0 = 0$ é dada por $F_{re} = F_{glúteo} + F_{quadríceps} + F_{panturrilha} = \frac{mv}{t} \cdot \cos(\theta)$, onde θ é o ângulo entre a direção do movimento e a força exercida. Um fator de análise biomecânica é averiguar se o corredor tem oscilação de altura durante as passadas, pois, se houver, significa que está desperdiçando energia se impulsionando para cima, o que também aumenta o impacto nas articulações.

3.5 Entrada do pé

Existem três tipos de passada, como ilustra a figura a seguir, que devem ser utilizadas no momento correto. Faz parte das técnicas de corridas saber o uso adequado de cada passada, saber o momento certo de usa-las é essencial para economia de energia e bom desempenho no esporte. Corredores iniciantes comumente não dominam essa técnica.

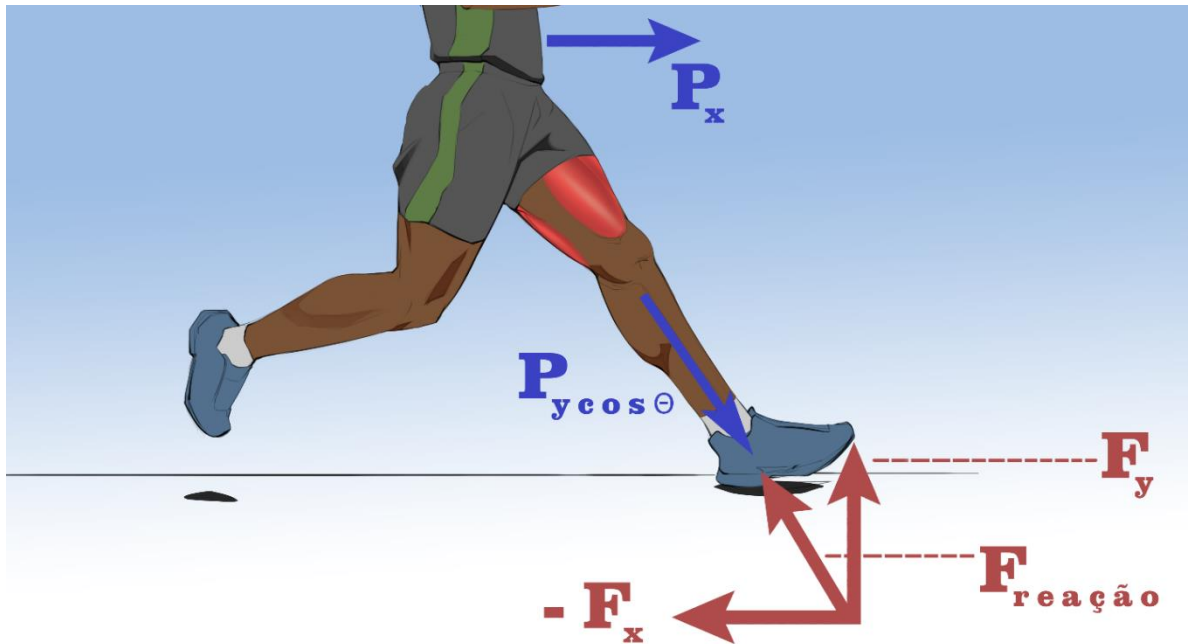
Figura 5: Tipos de pisada



Fonte: Michel Machado do Couto, 2021.

A primeira passada é ideal para a fase de desaceleração por dois motivos: 1) a força normal de reação ao momento (causado pelo deslocamento), quando tocamos o solo com o calcanhar, tem componentes apontando para trás, diminuindo nossa velocidade, como mostrado na Figura 6; 2) o fator biomecânico, pois ao tocarmos o solo com o calcanhar, por inércia, o peso do corpo é lançado sobre as articulações dos joelhos, que agem como amortecedores, e ao enrijecermos os músculos da perna dificultamos a rotação dele, dissipando gradualmente a energia cinética no impacto com o solo. Se um corredor não desejar frear, a utilização dessa passada é um empecilho constante ao movimento, que além dos fatores acima, ainda haveria atraso entre a fase de entrada e a de propulsão, por conta do tempo entre o calcanhar tocar o solo e a inércia do corpo jogá-lo para frente, momento em que empurramos o chão para continuar o movimento. Na equação $V = \lambda \cdot f$, esse atraso diminuiria a frequência da passada, conseqüentemente, a velocidade da corrida.

Figura 6: Vetores de momento e força de reação



Fonte: Michel Machado do Couto, 2021.

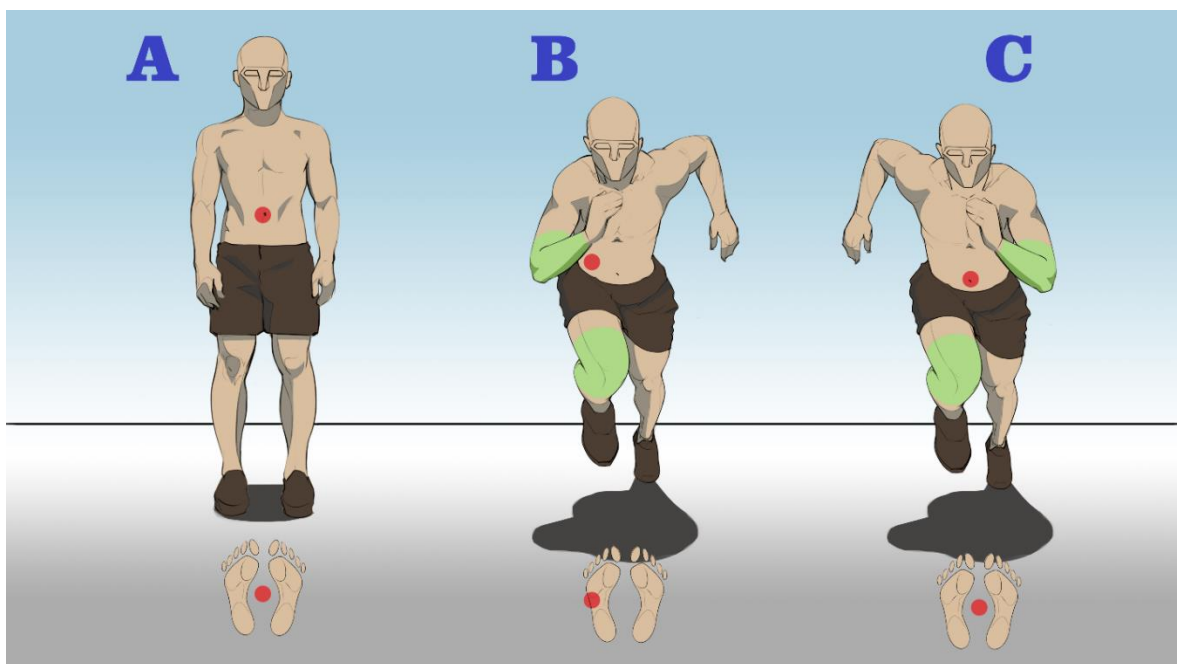
Na segunda passada, o pé toca o chão como um todo, e a força normal aponta para cima, compensando o peso. Pela inércia, o corpo tende a continuar seu deslocamento para frente, mas dessa vez com um amortecimento menor se comparado à primeira passada. Ao não contrairmos as musculaturas do pé e tornozelo, permitimos que a inércia gire o tornozelo suficientemente para nos deixar novamente na fase de propulsão, em que contraímos o quadríceps, esticando a perna e nos impulsionando. A vantagem dessa passada é a diminuição da exigência muscular, tornando a corrida viável em percursos maiores. Há aumento no coeficiente de atrito se comparado com a entrada do último tipo de passada e um aumento no tempo entre as fases de entrada e propulsão.

Na Figura 5, imagem C, não há amortecimento do impacto e as fases de entrada e propulsão são as mesmas, pois, quando o pé toca o chão, haverá a explosão dos músculos do quadríceps e da panturrilha impulsionando o corpo para frente, além de reduzir significativamente o atrito com o solo. Portanto, é propício para acelerações rápidas, pois o método aumenta a frequência de passadas, diminui a energia dissipada pelas articulações e o atrito com o solo, apesar do alto custo energético e do impacto brusco nas articulações, de modo que é ideal apenas para acelerações curtas.

3.6 Equilíbrio e Centro de Massa (C.M)

Como bípede, o ser humano naturalmente tem maior dificuldade para garantir seu equilíbrio, pois estabilidade no movimento e melhor desempenho requerem que o centro de massa (*C.M*) fique estável tanto no eixo lateral quanto no eixo sagital. A estabilidade do *C.M*, além de garantir que nenhuma parte do corpo sobrecarregue de forma assimétrica, garante que o centro de massa se locomoverá em linha reta. Falta de equilíbrio ou técnica inadequada de corrida pode levar o centro de massa a desempenhar leves trajetórias de zigue-zague, diminuindo a eficiência e o tempo final de uma corrida.

Figura 7: Centro de massa



Fonte: Michel Machado do Couto (2021)

O correto durante a corrida é movimentar os membros superiores e inferiores de forma sincronizada e oposta, isto é, braço direito com a perna esquerda e perna esquerda com o braço direito. Na Figura 7, notamos que o *C.M* quando se corre na postura B não está centralizado, isto significa que o corpo oscilará, descrevendo uma trajetória de zigue-zague ligeiramente maior do que seria uma linha reta. Sabendo da importância que o arrasto exerce sobre o corpo, há outro fator que contribui para o desempenho do corredor. Quando o braço à frente do corpo está no mesmo lado da perna de apoio, a parcela de ar que não foi jogada para trás do corredor colidirá com ele, gerando uma tendência de rotação do tronco, diminuindo o equilíbrio e alterando o *C.M*. Na análise biomecânica, o equilíbrio além do desempenho evita lesões, o *C.M* de um humano em pé fica aproximadamente no meio do retângulo formado pelos seus pés, de

modo que, quando há deslocamento do *C.M*, haverá distribuição de força assimétrica, que será sustentada por algum membro do corpo, podendo causar lesões.

4 Experimento de Corrida

Até o momento, vimos que uma corrida otimizada usa adequadamente braços, direção correta da impulsão, posição do pé, estabilidade do *C.M* e a redução da superfície de contato na arrancada. Para avaliar a relevância desses fatores, a experiência foi dividida em cinco *sprints* de 30 m com diferentes posturas de corrida para a comparação do desempenho entre as modalidades, foram elas:

- Corrida livre: para efeito de controle, o primeiro *sprint* foi feito de forma que o voluntário corresse sem instrução para ser comparado com os outros resultados posteriormente.
- Braços cruzados: o voluntário foi orientado a correr e cruzar os braços, tornando o corpo muito menos aerodinâmico, fazendo as moléculas presentes no ar se chocarem diretamente com o corpo, transferindo momento em vez de escoar para as costas do atleta, impactando negativamente o desempenho.
- Superfície de contato: no terceiro *Sprint*, a corrida foi realizada utilizando a ponta dos pés, região da falange, diminuindo assim o atrito com o solo.
- Sincronizada: no quarto *sprint* o intuito era aferir a relevância da posição do centro de massa durante a corrida, portanto, os voluntários foram orientados a correrem sincronizando as passadas com o movimento dos braços, ao contrário do movimento natural, no qual o braço direito se movimenta sincronizado com a perna esquerda. Por exemplo, os voluntários foram orientados a movimentarem braço e perna direita em conjunto.
- Naruto: supostamente, ao inclinar o corpo, estaríamos reduzindo a área de contato entre o ar e o corpo, reduzindo o arrasto. Contudo, além do equilíbrio, perderíamos aerodinâmica, tendo em vista que o rosto é menos aerodinâmico que os braços.

Os voluntários foram selecionados na beira-mar de São José, localidade onde tradicionalmente a população pratica corrida. O único critério foi o de selecionar indivíduos que estavam praticando atividade física, pois estariam com roupas adequadas para correr. Escolheram-se 15 voluntários para o experimento.

4 Resultados

Os experimentos apresentaram as tendências esperadas, e em apenas um caso houve divergência entre o esperado e o obtido, ponto fora da curva e absorvido pela média das diferenças percentuais entre todos os outros voluntários.

Observou-se que, em média, os braços auxiliam o tempo final da corrida em **5,67%**, e que indivíduos com ombros mais largos e idosos apresentaram um tempo muito maior com os braços cruzados. No primeiro caso, é provável que o indivíduo tenha sofrido força de arrasto maior devido a maior área de contato, enquanto no segundo caso o voluntário, devido à idade, não tinha força muscular suficiente para compensar o arrasto. Diminuir a superfície de contato com o solo, realizando o percurso de 30 m sobre a ponta dos pés, diminuindo o atrito, apresentou melhora no desempenho de **3,82%**; o experimento de redução de atrito apresentou baixa variância. O deslocamento do *C.M*, por meio do deslocamento incorreto dos braços, apresentou prejuízo de **4,61%** no tempo final. A corrida Naruto, na qual se pretendia reduzir a área de contato com o ar, conseqüentemente, o arrasto apresentou prejuízo de **2,96%**, resultado muito similar ao obtido pelo canal de *YouTube Because Science*, que encontrou um déficit de aproximadamente 3% no tempo. Tal queda no rendimento, mesmo reduzindo a área de contato, pode ser explicada pela falta de equilíbrio do corredor, além de alterarmos o coeficiente de atrito, que considera a geometria do objeto, pois o rosto humano pode ser considerado um *bluff body*, um objeto não aerodinâmico, ao contrário das mãos e dos braços.

Embora, com exceção de um caso, todos os experimentos tenham acompanhado a tendência esperada, para melhor precisão nos dados seria ideal maior número amostral, além da utilização de sensores, evitando o erro do tempo de reação do experimentador ao apertar o cronômetro.

5 Considerações finais

A pesquisa foi desenvolvida com a intenção de avaliar os fatores físicos que interferem na corrida. A utilização de técnicas de corrida, alvo da investigação, baseiam-se no melhor uso da física para aumentar o desempenho. Através de uma abordagem mista entre pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo, alguns fatores, como a força de arrasto, o atrito com o solo, o desvio do *C.M* e uma combinação entre superfície de contato e aumento do coeficiente de arrasto puderam ser constatados experimentalmente. Selecionaram-se 15 voluntários que correram cinco *sprints* diferentes para que se pudesse avaliar melhor o desempenho de cada variável separadamente. Constatou-se que a utilização dos braços reduz o arrasto do ar em 5,67%. Porque o arrasto é proporcional à velocidade e se analisou o período de aceleração

partindo do 0, é presumível que, durante uma *sprint* completo de 100 m, essa porcentagem seja superior. A diminuição da superfície de contato aumentou o desempenho em 3,82%. A movimentação adequada dos braços, evitando o deslocamento lateral do centro de massa, contribuiu com 4,61% do resultado final e a corrida Naruto, que visa diminuir a área de contato com o ar, prejudicou o desempenho dos corredores em 2,96%.

Para um resultado mais preciso seria adequado utilizar um número amostral maior. Entretanto, como, com exceção da corrida com os braços cruzados, todas as outras modalidades apresentaram baixa variância, não é esperado um resultado muito diferente. Em relação à qualidade dos resultados seria adequado utilizar sensores para mitigar erros manuais. Há outros fatores que contemplam a física da corrida que não foram abordados neste estudo, como a prática influência na direção do vetor força em um estudo sobre influência da temperatura no arrasto, trabalhos que complementariam o estudo sobre a física e biomecânica da corrida.

Referências

- AGUIAR, C. E. **Aerodinâmica da bola de futebol**: da Copa de 70 à Jabulani. Instituto de Física. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.
- ARANDA, N. A. S. A influência do ar nas atividades de corrida. **Revista de Educação Física**, Rio de Janeiro, v. 51, n. 1, 1982.
- BUCK, K. H. *et al.* Análise biomecânica da largada nos 100 metros no atletismo. **Revista CPAQV**, Piracicaba, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2020.
- FRANTIN, L.; OKUNO, E. **Desvendando a Física do corpo humano**: biomecânica. São Paulo: Manole, 2017.
- LOSS, J. F. *et al.* **Biomecânica do Esporte e do Exercício**. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- MOTA, Carlos Bolli; TEIXEIRA, Clarissa Stefani. A biomecânica e a Educação Física. **Lecturas Educación Física y Deportes**, Buenos Aires, ano 12, n. 113, p. 29, 2007.
- NAGAI, Y.; KOIKE, S. Dynamic contribution analysis on the propulsion mechanism of sprinter during initial acceleration phase. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF BIOMECHANICS IN SPORTS, 33., 2015, Poitiers. **Anais [...]** Poitiers: ICBS, 2015.
- NOGUEIRA, M. M. S. **Análise e comparação das alterações biomecânicas associadas a corrida com arrasto**. 2008. Monografia (Licenciatura em Desporto) —Universidade do Porto, Faculdade de Desporto, Porto, 2008.
- OLIVEIRA, A. J. S. **Ensaio biomecânicos do tendão calcâneo de ratos por meio de máquina multiaxial**. 2016. TCC (Bacharelado em Fisioterapia) — UnB, Brasília, 2016.

PASSOS, R.P.; et al. . Análise Biomecânica Da Largada Nos 100 Metros da Largada No Atletismo. **Revista CPAQV**, v. 9, p. 1, 2020.

ROBERT G. L.; ARON J. M.; CHRISTOPHER D. S. Effects of Resisted Sled Towing on Sprint Kinematics in Field-Sport Athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [S.l.], v. 17, n. 4, p. 760-767, 2003.